

令和 2 年 4 月 25 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K07646

研究課題名(和文) 時間経過に伴う土壌中の炭化物の光物理化学的特性変化からみた炭化物の変質・消失過程

研究課題名(英文) Degradation and disappearance process of charcoals, examined by their photophysical and chemical properties

研究代表者

井上 淳(Inoue, Jun)

大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：90514456

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、植物の高温被熱で生成される炭化物(炭)が、山火事や山焼きによって生成された後の運搬・埋没・変質・消失プロセスすなわち、水や風によって運ばれ、どのように土壌や堆積物中に取り込まれ、その後どのように破壊されたり分解されたりするのかを明らかにすることを目的に研究を行った。その結果、炭化物は生成時の燃焼物(植物の部位)や被熱条件(温度や被熱時間)によってその化学的特性や物理的特性が異なり、土壌と堆積物に残存する炭化物はこれらの特性が異なる可能性を指摘した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土壌や堆積物中の炭化物の変質・消失過程を明らかにすることは、土壌改良への炭化物の利用、また地球の炭素循環における土壌や堆積物の炭素貯留を考える上で重要である。このため、炭化物の土壌や堆積物中での安定性、変質や消失については様々な研究手法を用いて広く行われてきた。本研究では過去約1000年間に生成された土壌中の炭化物1粒子ごとの物性変化を明らかにした。その結果、長期的な化学的特性の変化に加えて、炭化物の残存にはそれぞれの粒子の物理的特性(強度・比重)などが強く影響している可能性を示唆した。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify transport, burial, transformation, and disappearance processes of charcoal fragments in soils and sediments. The results of our study indicate as follows. Chemical and physical properties of each natural charcoal are different, which likely depends on the plant material and the heating condition (e.g., temperature and heating duration). These properties are likely different between soil-charcoals and sediment-charcoals.

研究分野：第四紀学

キーワード：微粒炭 炭化物 タフオノミー 分解過程 土壌 堆積物

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般に炭化物(森林火災や人工的な高温被熱によって生成された植物由来の炭)は、化学的に安定で土壌や堆積物中で長期的に保存されるものと考えられている。このため、土壌や堆積物中の炭化物は、一定期間の炭素貯留の役割を担うものとされている。また、土壌改良などを目的に土壌にしばしば炭化物が付与される。こうした炭素貯留および土壌改良における炭化物の役割を考える上で重要な問題となるのは、土壌や堆積物中での安定性(残存性)である。すなわち、炭化物が土壌や堆積物中でどの程度の期間残存するのか、またどのようなプロセスで炭化物が消失・変質するのか、どのような炭の残存性が高いのか...などである。こうした疑問や問題に対して、様々な分野において各種手法により炭化物の安定性・残存性について議論されている。しかしながら、これらの炭化物の土壌での安定性については、研究者や研究によって大きく相違する結果が提示されている。研究者による結論の相違の一因には、土壌に含まれる炭化物の初期状態がそれぞれの研究によってことなることが考えられる。すなわち、炭化物の化学的構造の違いは、生成後の変質・消失過程のみだけでなく、燃焼物や燃焼温度の違いなど初期生成条件の違いによっても生じる。しかし、こうした条件はしばしば無視されている。これは、炭化物が生成された時点(過去数百年前~数千年前)での燃焼物や燃焼温度が特定されていない(もしくは特定できない)ことが原因である。そこで本研究では、申請者が土壌や堆積物の年代測定、花粉分析、植物珪酸体分析、微細炭化物分析などの古生態学的手法を用いて明らかにされている過去約1000年間の燃焼物や燃焼形態(具体的には1000年以上継続して行われてきたススキ原の山焼き)の研究地域の累積性土壌や堆積物に含まれる炭化物について時代ごと(約数百年ごと)の光物理化学的特性を明らかにする。そして、炭化物の光物理化学的特性から、それらの化学構造を推定する。現在の山焼き後に採取した炭化物と各時代の炭化物の化学構造特性を比較し、1.土壌や炭化物に残存する炭化物の化学的特徴、2.どういった過程で炭化物が変質・消失するのか、3.炭化物がどの程度の時間オーダーで変質・消失するか、について検討した。

2. 研究の目的

累積性土壌や堆積物に含まれる時代ごとの炭化物の光物理化学的特性を明らかにし、どのように炭化物が変質・消失するか、また炭化物の化学構造が時間経過に伴いどのように変化するか、を明らかにする。さらに、時間経過に伴う土壌中と堆積中の炭化物それぞれの化学構造の変化を比較することで、土壌・堆積物それぞれに含まれる炭化物の変質・消失過程の特徴を明らかにし、土壌中の炭化物の変質・消失の要因明らかにする。

3. 研究の方法

約1000年間に堆積した累積性土壌や湿原堆積物に含まれる炭化物、現在のススキ原の山焼き後に採取した炭化物を分析試料とする。これらの試料についてラマン散乱分光法、顕微赤外吸光分光法を用いて、一粒子ごとの光物理化学的特性を調べた。その特性に基づき、土壌に含まれる炭化物、現在の山焼きの炭化物(土壌中の炭化物の初生状態)それぞれの化学構造の特徴を明らかにする。

累積性土壌や湿原堆積物から薬品処理(酸・アルカリ処理)により、微細炭化物を抽出する。篩を用いて125-250 μm サイズの炭化物を抽出し、分析試料とする。現在の山焼き後に採取した炭化物については、粉末状に粉碎後、125-250 μm サイズのものについて土壌、堆積物試料と同様の薬品処理、サイズ分け処理を行い、土壌中の微細炭化物の分析結果と比較した。

4. 研究成果

ここでは、研究成果について十分にまとめられた曽爾高原の埋没土壌中のラマン散乱分光法により明らかになったことを中心に述べる。同地域では、約1000年間にわたってススキ原の山焼きが継続されていると考えられるため(Inoue et al., 2012; Okunaka et al., 2012)、炭化物の母材とその生成条件は約1000年間ほぼ変化していないと考えられる。現在の山焼きによって生成された炭化物を粉碎したものを、土壌表層(深度0-3cm)に含まれる炭化物粒子(125-250 μm の微粒炭)、約1000年前頃の土壌(深度14-25cm)に含まれる炭化物粒子の分析結果を比較することにより、炭化物の土壌埋没までの過程と埋没後約1000年間の分解・変質過程についての評価を試みた。

それぞれの炭化物から得られたラマンスペクトルを解析するために、McDonald-Wharry et al. (2013)を参考にいくつかの指標(Dバンド位置、Gバンド位置、Dバンド・Vバンド・Gバンド強度 I_D, I_V, I_G)、ベースラインの傾き(図1を参照)を設定した。これらの指標を基に解析した結果、現在の山焼き後の炭化物粒子の中には高温被熱したと考えられるもの(高いGバンド位置、低い I_V/I_G 値、低いベースラインの傾き I_G が示唆する:図2の黒プロット)が一定の割合で認められたが、土壌中の炭化物にはいずれの土壌中でもこうした特徴を持つ炭化物粒子はほとんど認められない(図2の白・灰色プロット)。これらの指標は、被熱温度の上昇に伴うC-H結合の減少やグラファイト様構造の領域の拡大などに変化する(McDonald-Wharry et al., 2013; Smith et al., 2016)。以上のことは、高温被熱した炭化物(炭化度の高い炭化物)は、山焼き直後の炭化物に多く含まれる一方、表層土壌と1000年前の土壌両方で少ないことを意味する。これは、高温被熱した炭化物は山焼きによる生成後、その多くは、土壌埋没前もしくは土壌埋没後す

ぐに消失もしくは除去されている可能性を意味する。高温被熱した炭化物は化学的に安定であるため、生成後の短期間で化学的なプロセスによって選択的に失われるとは考えにくい。このため、高温被熱した炭化物の消失には、炭化物生成後から土壌埋没までの物理的なプロセス（破壊・運搬）が主要因となっている可能性が高い。

炭化物の化学特性や物理特性は、その母材植物や生成時の温度条件（被熱温度・被熱時間）に特に依存し、温度上昇に伴い、不定形炭素の領域が相対的に減少し、グラフェン様構造の領域が拡大すること、また、真比重や空隙率は温度上昇に伴い増加し、物理強度も温度に上昇に伴い弱くなることが示されている。同地域の炭化物の母材はススキなどを中心とした草本植物で壊れやすく、また、同地域の地形は全体に緩斜面であるため、降雨時に水流による影響が強いことが想定される。このため、同地域は物理的プロセスの影響を受けやすい条件下にあると考えられるものの、こうした物理プロセスは埋没土壌中の炭化物の残存に広く影響しているものと考えられる。土壌表層と1000年前の2つの土壌試料中の炭化物粒子の各指標の平均値には有意な差が認められなかったが、低温炭化したと考えられるGバンド位置の低い粒子に限定した場合には、 I_D/I_G 値には有意な違いが認められ、土壌中での約1000年間の炭化物の変質を示唆する。このことから、同地域での土壌内での変質・分解は、低炭化度の粒子に選択的に影響した可能性がある。

本研究では、土壌や堆積物の炭化物粒子1粒子ずつについて分析を行うことにより、土壌に残存する炭化物は化学的特性だけでなく、物理的な特性によっても影響を受ける可能性を示唆した。また、ここでは割愛するが、顕微赤外吸光分光法分析結果についても大まかにはラマン散乱分光法分析結果と調和的な結果が得られており、これらについても今後結果をまとめて公表したいと考えている。本研究の成果は、炭化物の土壌での残存性を考える上でその物理特性が化学特性と同様に重要な意味を持つことを示したことにある。

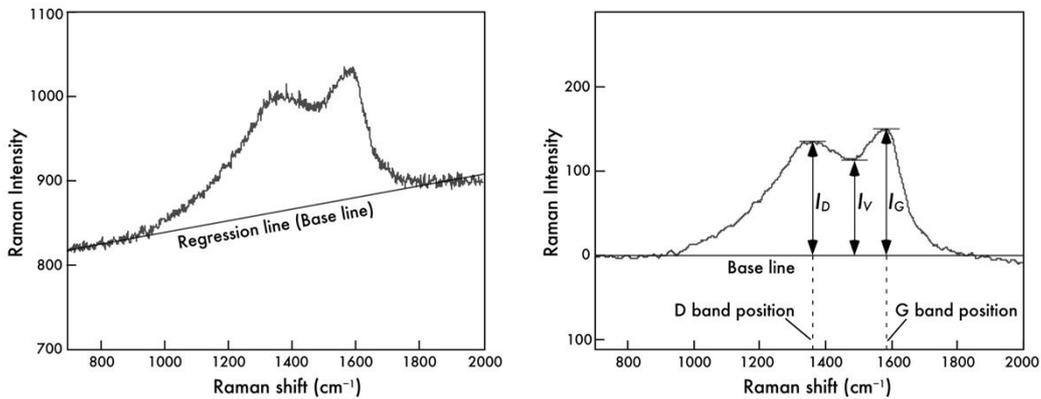


図1 炭化物のラマンスペクトルの各指標 (Inoue et al., 2017)

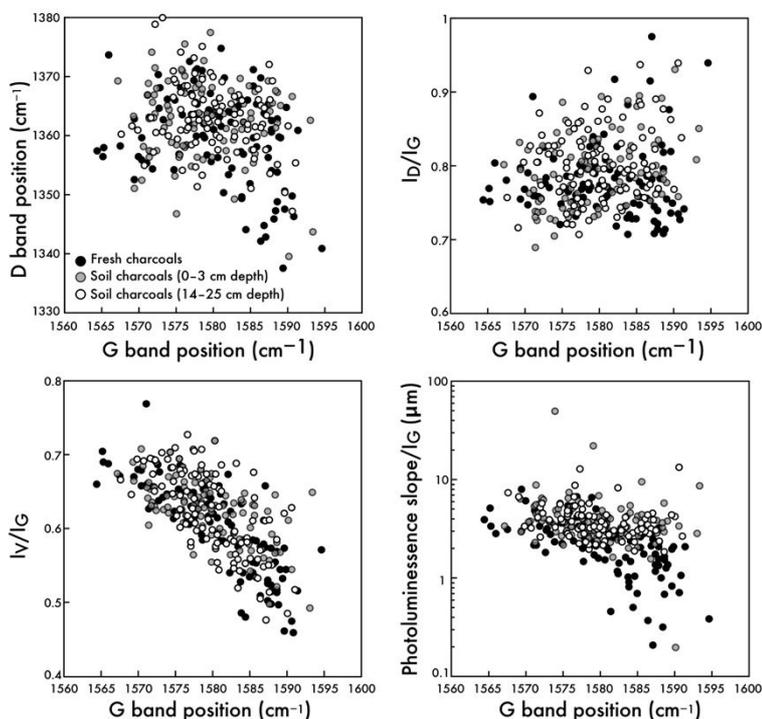


図2 山焼き後の炭化物粒子と埋没土壌中の炭化物粒子のラマンスペクトルの各指標の比較 (Inoue et al., 2017)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 井上 淳	4. 巻 62
2. 論文標題 埋没土壌の炭化物粒子から復元される火の歴史と炭化物の残存過程	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ペドロジスト	6. 最初と最後の頁 44;52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18920/pedologist.62.2_44	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue J., Yoshie A., Tanaka T., Onji T. and Inoue Y.	4. 巻 285
2. 論文標題 Disappearance and alteration process of charcoal fragments in cumulative soils studied using Raman spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 164;172
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.geoderma.2016.09.032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi N., Kawano T. and Inoue J.	4. 巻 527
2. 論文標題 Long-term response of respective grass types to variations in fire frequency in central Japan, inferred from phytolith and macrocharcoal records in cumulative soils deposited during the Holocene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Quaternary International	6. 最初と最後の頁 94;102
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.quaint.2018.04.048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 林 尚輝・河野樹一郎・井上 淳
2. 発表標題 兵庫県神鍋地域の堆積土壌中の植物珪酸体と微粒炭が示す過去1万年間の異なる火入れ頻度下での植生変遷
3. 学会等名 日本植生史学会33回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki HAYASHI, Tatsuichiro KAWANO, Jun INOUE
2. 発表標題 The different vegetation during Holocene induced by different fire frequencies in a local area, central Japan, inferred from phytolith and macrocharcoal records in cumulative soils
3. 学会等名 The 11th International Meeting on Phytolith Research (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上 淳
2. 発表標題 埋没土壌の炭化物生成時の周辺環境と炭化物の残存過程
3. 学会等名 日本ペドロロジー学会2018年大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上 淳・吉江紋加・田中 剛・陰地威史・井上 陽太郎
2. 発表標題 ラマンスペクトルから見た累積性土壌中の微粒炭の変質・消失過程
3. 学会等名 日本第四紀学会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

井上淳ホームページ
<http://sedimentarychar.sakura.ne.jp>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----